

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-316562

(43)公開日 平成8年(1996)11月29日

(51)Int.Cl.⁶
H 0 1 S 3/16
 3/06

識別記号 庁内整理番号
F I
H 0 1 S 3/16
 3/06

技術表示箇所

(21)出願番号 特願平7-121036
(22)出願日 平成7年(1995)5月19日

審査請求 未請求 請求項の数5 O.L (全5頁)

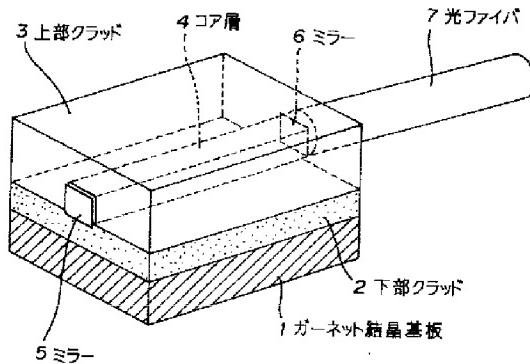
(71)出願人 000004226
日本電信電話株式会社
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
(71)出願人 000002060
信越化学工業株式会社
東京都千代田区大手町二丁目6番1号
(72)発明者 加藤 雄二郎
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本電信電話株式会社内
(72)発明者 下小園 真
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本電信電話株式会社内
(74)代理人 弁理士 光石 俊郎 (外2名)
最終頁に統ぐ

(54)【発明の名称】 ガーネット結晶導波路型レーザ

(57)【要約】

【目的】 1. 6 μm波長領域に発振波長を有し、容易に他の導波路型部品への接続が可能であり、高出力で波長安定性に優れ、長寿命で実用に耐える光源として作用するガーネット結晶導波路型レーザを提供することを目的とする。

【構成】 少なくともコア4及び該コア4を取り巻き該コア4よりも屈折率の低いクラッド2, 3を有する導波路型レーザにおいて、前記コア4は、Y₃Al₅O₁₂ (YAG) を主成分とし、イットリウム (Y) の一部をエルビウム (Er)、ネオジウム (Nd)、イッテルビウム (Yb)、ルテチウム (Lu) よりなる群からエルビウムを必ず含んで選ばれた1種又は複数種の元素に置換し、アルミニウム (Al) の一部をガリウム (Ga) に置換したYAGG結晶である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくともコア及び該コアを取り巻き該コアよりも屈折率の低いクラッドを有する導波路型レーザにおいて、前記コアは、イットリウムアルミニウムガーネットを主成分とし、イットリウムの一部をエルビウム、ネオジム、イッテルビウム、ルテチウムよりなる群からエルビウムを必ず含んで選ばれた1種又は複数種の元素に置換し、アルミニウムの一部をガリウムに置換した結晶であることを特徴とするガーネット結晶導波路型レーザ。

【請求項2】 前記クラッド及びコアは、イットリウムアルミニウムガーネット基板上に形成されていることを特徴とする請求項1記載のガーネット結晶導波路型レーザ。

【請求項3】 前記クラッドは下部クラッドと上部クラッドよりなり、該下部クラッドは前記イットリウムアルミニウムガーネット基板基板上に形成され、前記コアは該下部クラッド上的一部分に形成され、前記上部クラッドは、該コアを覆って前記下部クラッド上に形成されることを特徴とする請求項2記載のガーネット結晶導波路型レーザ。

【請求項4】 前記コアの両端面に、ミラーをそれぞれ配置して共振器を構成することを特徴とする請求項1、2又は3記載のガーネット結晶導波路型レーザ。

【請求項5】 請求項4記載のガーネット結晶導波路型レーザの出力端に光ファイバが接続されていることを特徴とするガーネット結晶導波路型レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、ガーネット結晶導波路型レーザに関する。詳しくは、1.6μm近辺の波長の光を効率よく発するガーネット結晶導波路型レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】1.6μm波長領域の光源として、高出力で波長安定性に優れ、長寿命且つ容易に他の導波路型部品への接続が可能で、実用に耐えるレーザの期待が高まりつつある。1.6μm波長の光は、1.5μmの光に比較して、伝搬損失がやや大きいことから、通信そのものに利用するよりも、むしろ光通信線路の保守に適する。つまり、1.6μm波長域の光は、通信波長域の光と競合することなく、光通信線路を伝達することが可能であり、この種の光通信を利用して線路が正常に機能しているか否かを検査する作業に主として使用される。

【0003】一方、光通信には、伝搬損失の低い1.5μm波長域の光が主として用いられる。高速・大容量の通信においては、一定の距離を伝搬した強度の小さくなつた信号光を直接増幅して、時間遅延をなくすことが重要である。1.5μmの波長領域においては、希土類元素であるエルビウムを微量添加した石英ガラスファイバ

を用いた光増幅器(Erbium Doped Fiber Amplifier:EDFA)を用いて、信号光の直接増幅を行っている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述したように1.6μm波長域の光は、主として線路保守に使用されるが、正確な保守の為には、一定以上の信号光の強度が要求される。強度は大きければ大きいほど良いが、ファイバ出力として、40mWから50mW以上が要望されている。しかしながら、現在開発されている1.6μm波長域の単一モード動作半導体レーザは、端面から出射する光強度は、40mW程度あるものの、1.5μm単一モードファイバとの結合効率が低く、高々10mWにしかファイバに結合しない。

【0005】また、1.6μm波長域を実現するためには、活性層の格子定数をInP基板結晶のそれから著しく歪ませる必要があり、歩留りが悪く、高価なものとなっている。更に、半導体レーザでは、発振波長安定性、寿命にも問題が残されている。このように、従来技術では、1.6μm波長域の光源として、高出力で波長安定性に優れ、長寿命且つ容易に他の導波路型部品への接続が可能で、単一モードで動作する実用に耐えるレーザは実現されていなかった。

【0006】本発明は、上記従来技術に鑑みて成されたものであり、1.6μm波長領域に発振波長を有し、容易に他の導波路型部品への接続が可能であり、高出力で波長安定性に優れ、長寿命で実用に耐える光源として作用するガーネット結晶導波路型レーザを提供することを目的とする。

【0007】

30 【課題を解決するための手段】斯かる目的を達成する本発明のガーネット結晶導波路型レーザに係る構成は、少なくともコア及び該コアを取り巻き該コアよりも屈折率の低いクラッドを有する導波路型レーザにおいて、前記コアは、イットリウムアルミニウムガーネットを主成分とし、イットリウムの一部をエルビウム、ネオジム、イッテルビウム、ルテチウムよりなる群からエルビウムを必ず含んで選ばれた1種又は複数種の元素に置換し、アルミニウムの一部をガリウムに置換した結晶であることを特徴とする。

40 【0008】また、前記クラッド及びコアは、イットリウムアルミニウムガーネット基板上に形成されていること、前記クラッドは下部クラッドと上部クラッドよりなり、該下部クラッドは前記イットリウムアルミニウムガーネット基板基板上に形成され、前記コアは該下部クラッド上的一部分に形成され、前記上部クラッドは、該コアを覆って前記下部クラッド上に形成されること、前記コアの両端面に、ミラーをそれぞれ配置して共振器を構成すること、出力端に光ファイバが接続されていることを特徴とする。

50 【0009】

【作用】コアに、例えば、 $0.98\mu m$ 、 $1.48\mu m$ 、 $1.53\mu m$ の励起光を結合させると、コアはエルビウムイオンが存在するため、この光が効率よく吸収され、基底準位から $^4I_{11/2}$ 準位或いは $^4I_{13/2}$ 準位へと遷移し、 $^4I_{13/2}$ 準位へ遷移した場合には、非発光遷移により $^4I_{13/2}$ 準位へ移る。最終的には、導波路及び両端面のミラーにより構成される共振器の作用によって、所望の $1.65\mu m$ 近辺の光以外は減衰して、 $^4I_{13/2}$ 準位から基底準位への遷移の際に発する $1.647\mu m$ 波長の光だけが導波路端面から出射する。

【0010】

【実施例】以下、本発明について、図面に示す実施例を参照して詳細に説明する。本発明の一実施例に係るガーネット結晶導波路型レーザを図1に示す。同図に示すように、ガーネット結晶基板1上には、下部クラッド2が形成されると共にこの下部クラッド2上的一部分にコア層4が形成され、更に、このコア層4を覆って下部クラッド2上に上部クラッド3が形成されている。

【0011】コア層4の励起光を入射する側にはレーザ用ミラー5が形成される一方、レーザが出射する側にはミラー6が形成され、共振器が構成されている。更に、コア層4の出射端には、光ファイバ7が接続されている。ガーネット結晶基板1は、光導波路を形成するための基板であり、本実施例では、イットリウムアルミニウムガーネット($Y_3Al_5O_{12}$: YAG)単結晶基板を用いた。

【0012】下部クラッド2としては、ガーネット結晶基板1と同一材料のものを用いることもできるし、ガーネット結晶基板1そのものを用いることもできる。上部クラッド3としては、ガーネット結晶基板1の材料とはほぼ同一の組成、同一の格子定数及び同一の屈折率を有するガーネット結晶膜を用いた。

【0013】コア層4は、光を閉じ込めるためのものであり、イットリウムアルミニウムガーネット($Y_3Al_5O_{12}$: YAG)を主成分とし、希土類元素にイットリウム(Y)を加えてエルビウム(Er)を必ず含み、更に、ネオジム(Nd)、イッテルビウム(Yb)、ルテチウム(Lu)の中ら組み合わせた1種又は複数種の元素を含み、また、アルミニウム(A1)の一部をガリウム(Ga)に置換したガーネット結晶(YAGG)を用いる。

【0014】コア層4におけるアルミニウムとガリウムの構成比により、クラッド2、3との屈折率差を制御して導波構造を実現し、活性イオンとしてはエルビウムイオン(Er^{3+})を用いる。

【0015】上記構成を有するガーネット結晶導波路型レーザは、次の様に動作する。即ち、 $0.98\mu m$ 、 $1.48\mu m$ の半導体レーザからの励起光或いはエルビウムドープ石英ファイバレーザから出射する $1.53\mu m$ の励起光を单一モードファイバを介してコア層4に直

接結合させると、コア層4にはエルビウムイオン(Er^{3+})が存在するため、この光が効率よく吸収され、基底準位から $^4I_{11/2}$ 準位或いは $^4I_{13/2}$ 準位へと遷移し、 $^4I_{13/2}$ 準位へ遷移した場合には、非発光遷移により $^4I_{13/2}$ 準位へ移る。

【0016】最終的には、導波路及び両端面のミラー5、6により構成される共振器の作用によって、所望の $1.65\mu m$ 近辺の光以外は減衰して、 $^4I_{13/2}$ 準位から基底準位への遷移の際に発する $1.647\mu m$ 波長の光だけが導波路端面から出射する。

10 【0017】尚、励起光を单一モードファイバを介してコア層4に直接結合させる際、ファイバ端面を、ファイバのコアと導波路のコア層4とを調芯して直接接続するだけで良く、複雑な光学系は不要である。

【0018】更に、導波路のコア層4とファイバのコアとは同一レベルの大きさであり、しかも、光強度の空間的広がりを意味するモードフィールド径を同等に制御することができる。

20 【0019】上記構成を有する実施例に係るガーネット結晶導波路型レーザは、次の利点を有する。

【0019】①先ず、誘導放出の原理に希土類イオンの蛍光を利用しているため、波長安定性に優れることができられる。活性イオンであるエルビウムイオンは、発光効率が高く、高出力の固体レーザを容易に実現できる。材料にガーネット結晶を用いているため、熱的・化学的に安定であり、長寿命である。また、非常に、小型の素子であり、励起用光源を別にすると、全長約4mm、厚さ 0.5 mm 、幅はハンドリングが容易な範囲で $1\sim 5\text{ mm}$ 程度に選べる。

30 【0020】②導波路型部品であるため、他の導波路型デバイスとの結合が容易である。作製に用いるYAG結晶基板は、入手が容易で、価格も比較的安く、生産・制御技術が進んでいる。液相エピタキシャル成長法による結晶成長技術も完成している。また、加工性に優れており、導波路加工が容易であるとともに、大量生産が可能となり、一層の低価格化が図れる。

【0021】このように説明したように、本実施例では、基板材料及びクラッド材料としてYAGを選び、コア材料としてエルビウムイオンを含有したガーネット材料を選択することにより、 $1.6\mu m$ 波長領域に発振波長を有し、容易に他の導波路型部品への接続が可能で、高出力で波長安定性に優れ、長寿命で実用に耐える光源として作用するガーネット結晶導波路型レーザを提供することができた。

【0022】次に、本発明の具体的実施例について説明する。但し、本発明は、これらの実施例に限定されるものではなく、これらの実施例で説明する各種の置換を行った具体例を適宜組み合わせたものも含まれる。これらの実施例を見れば、その組合せにより同等の効果を引き

出せることが容易に類推できるからである。更に、本発明の主たる特徴である屈折率の制御及び発光に関するエルビウムイオン以外の部分を適宜置換した材料を用いた導波路型レーザも、本発明から容易に類推できるものであるから、これらの発明も本発明に含まれるものである。

【0023】〔実施例1〕本実施例は、基板結晶にYAGを用いて、下部クラッドに基板そのものを用い、上部クラッド材料として、組成及び格子定数を基板とほぼ同じに制御したYAG結晶膜を用い、コア層に希土類としてイットリウムに加えて、ネオジム、ルテチウム、エルビウムを含み、アルミニウムの位置に屈折率を制御するためのガリウムを添加し、格子定数を基板とほど同程度となるよう適宜希土類元素の量を制御したガーネット結晶膜を用いたガーネット結晶導波路型レーザを作製し、光ファイバを接続して出力を評価したものである。

【0024】即ち、先ず、直径が約2cmで厚さ0.4mmのYAG単結晶基板(〈111〉方位)を用意して、その基板上に酸化鉛と酸化硼素を融剤とする液相エピタキシャル成長法により、約950°Cの温度でコア層となる($Y_{0.686}Nd_{0.05}Yb_{0.05}Lu_{0.204}Er_{0.01}$)

($Al_{0.95}Ga_{0.05}$)₅O₁₂ガーネット膜を約4μmの厚さに成長させた。この結晶膜の格子定数は、12.01Åであり、ほぼ基板の12.008Åと同程度であった。また、1.5μm波長域における屈折率は、ガリウムでアルミニウムを少量置換した分変化し、およそ1.8255であった。基板材料であるYAGの屈折率1.*

表-1 ガーネット結晶導波路型レーザ(その1)

基板材料	YAG
クラッド材料	YAG ($Y_3Al_5O_{12}$)
コア材料	(Nd, Yb, Lu, Er, Ga) : YAGG
励起光源	半導体レーザ(波長1.48μm)
1.65μm波長でのファイバ出力	50mW以上

【0029】この表-1から判るように、この導波路型レーザは、高性能であった。また、励起に0.98μmの半導体レーザを用いて、同様の結果を得た。

【0030】〔実施例2〕実施例1に比較し、コア材料として、エルビウムの含有量を変化させ、ネオジムとルテチウムを含まないガーネット結晶膜を酸化鉛と酸化硼素を融剤とする液相エピタキシャル成長法により約98%⁴⁰

表-2 ガーネット結晶導波路型レーザ(その2)

基板材料	YAG
クラッド材料	YAG
コア材料	(Y, Yb, Er) : YAGG
励起光源	エルビウムドープファイバレーザ(波長1.53μm)
1.65μm波長でのファイバ出力	40mW以上

【0032】表-2から判るように、これらの導波路の性能は十分であった。尚、コア層の屈折率は、1.5μm波長域において、約1.824であった。これらのコア層の組成を表-3に示す。

*82よりも若干大きな値であった。

【0025】また、組成分析の結果、意図しなかった元素である鉛、硼素及びプラチナが極く微量であるが検出された。これは、融剤の主成分である鉛、硼素さらに坩埚材料であるプラチナが成長過程で混入したものである。格子定数の制御は、希土類元素の主たる部分をイットリウムに選び、他の希土類元素及びガリウムにより生じる格子定数を補正するのにルテチウムを利用した。これらの置換により、格子定数が基板と若干相違することもあるが、結晶成長を阻害しない範囲であれば、あえて格子整合にこだわる必要はない。

【0026】次に、コア層まで成長した基板に対して、膜上にコアリッジを加工するためのマスクをフォト工程により形成し、イオンビームエッチングを行って幅約4μm、高さ約4μmの直線状コアリッジを形成した。コアリッジの形成まで行った基板上に、コア層と同様にして酸化鉛と酸化硼素を融剤とする液相エピタキシャル成長法により約950°Cの温度で約15μmの厚さに上部クラッド層となるYAGガーネット膜を成長させることによりコアの断面が4μm×4μmの導波路構造を形成した。

【0027】最後に、この導波路を長さ約20mmに切断して端面を研磨してガーネット結晶導波路型レーザの作製を終わった。この導波路は、図1に示す構造を有している。この導波路のまとめを表-1に示す、なお、励起には、1.48μmの半導体LDを用いた。

【0028】

※0°Cの温度で成長させた導波路型レーザを作製して特性評価を行った。同様に、それらの導波路の上部クラッドは、実施例1と同一の条件で厚さ約15μmに成長したものである。これらの導波路の特性を表-2に示す。なお、励起には、エルビウムドープファイバレーザを用いた。

【0031】

★アに用いられた結晶膜の格子定数は、12.01Åであり、ほぼ基板の12.008Åと同じ程度であった。これらコア層の組成を表-3に示す。

【0033】

表-3 エルビウム量を変化させたコア層の組成

第1の組成	$Y_{2.399} Yb_{0.586} Er_{0.015} Al_{4.826} Ga_{0.174} O_{12}$
第2の組成	$Y_{2.387} Yb_{0.583} Er_{0.03} Al_{4.826} Ga_{0.174} O_{12}$
第3の組成	$Y_{2.375} Yb_{0.580} Er_{0.045} Al_{4.826} Ga_{0.174} O_{12}$

【0034】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように、本発明によれば、コア材料にエルビウムイオンを少なくとも含有するガーネット材料を選択するため、1.6 μm波長領域に発振波長を有し、容易にファイバや他の導波路型部品への接続が可能で、また、高出力で波長安定性に優れ、長寿命で実用に代える光源として作用するガーネット結晶導波路型レーザを構成でき、産業上の利点が大きいものである。

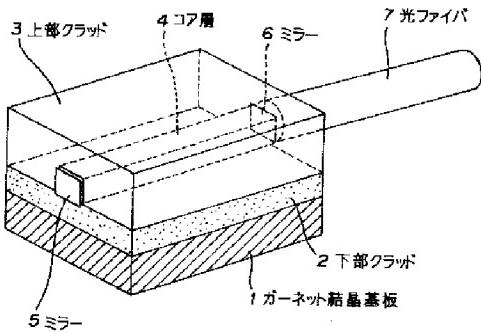
【図面の簡単な説明】

* 【図1】本発明の一実施例に係るガーネット結晶導波路型レーザの概念を示す斜視図である。

【符号の説明】

- | | |
|----|-----------|
| 1 | ガーネット結晶基板 |
| 10 | 2 下部クラッド |
| | 3 上部クラッド |
| | 4 コア層 |
| | 5 ミラー |
| | 6 ミラー |
| | 7 光ファイバ |
| * | |

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 杉本 直登

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 久保田 英志

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 流王 俊彦

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化
学工業株式会社精密機能材料研究所内

(72)発明者 福田 悟

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化
学工業株式会社精密機能材料研究所内

(72)発明者 丹野 雅行

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化
学工業株式会社精密機能材料研究所内

PAT-NO: JP408316562A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08316562 A
TITLE: GARNET CRYSTAL WAVEGUIDE-TYPE LASER
PUBN-DATE: November 29, 1996

INVENTOR-INFORMATION:

NAME
KATO, YUJIRO
SHIMOKOZONO, MAKOTO
SUGIMOTO, NAOTO
KUBOTA, HIDESHI
RIYUUOU, TOSHIHIKO
FUKUDA, SATORU
TANNO, MASAYUKI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>	N/A
SHIN ETSU CHEM CO LTD	N/A

APPL-NO: JP07121036

APPL-DATE: May 19, 1995

INT-CL (IPC): H01S003/16, H01S003/06

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a garnet crystal waveguide-type laser which is capable of oscillating laser rays of wavelength $1.6\mu\text{m}$, being easily connected to another waveguide-type part, high in output power, excellent in stability of wavelength, long in service life, and capable of serving as a practical light source.

CONSTITUTION: A waveguide-type laser is equipped with a core 4 surrounded with clads 2 and 3 lower than the core 4 in refractive index, wherein

the core
4 is primarily formed of Y<SB>3</SB>Al<SB>5</SB>O<SB>12</SB> (**YAG**) or
YAG
crystal, and a part of yttrium(Y) is replaced with one or more elements selected out of erbium(Er), neodymium(Nd), ytterbium(Yb), and lutetium(Lu) including erbium without fail, and a part of aluminum(Al) is replaced with gallium(Ga).

COPYRIGHT: (C)1996,JPO